

# CONJUGADOR DE FASE SOBRE UNA ANTENA SINTONIZABLE EN FRECUENCIA PARA AGRUPACIONES RETRODIRECTIVAS FULL-DUPLEX

José A. García<sup>(1)</sup>, Lorena Cabria<sup>(1)</sup>, Gabriel Montoro<sup>(2)</sup>, Francisco Marante<sup>(3)</sup>

[joseangel.garcia@unican.es](mailto:joseangel.garcia@unican.es), [lorena@dicom.unican.es](mailto:lorena@dicom.unican.es), [montoro@tsc.upc.edu](mailto:montoro@tsc.upc.edu), [marante@electronica.cujae.edu.cu](mailto:marante@electronica.cujae.edu.cu)

<sup>(1)</sup>Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones, Univ. de Cantabria, Avda. de Los Castros s/n, 39005, Santander, España

<sup>(2)</sup>Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Univ. Politécnica de Catalunya, Av. Canal Olímpic s/n, 08860 Castelldefels, España

<sup>(3)</sup>Dpto. Telecomunicaciones, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, Ciudad Habana, Cuba.

**Abstract-** In this paper a frequency agile phase-conjugating active antenna to be employed in full-duplex and secure retrodirective communication links is presented. Thanks to the proper combination of two Enhancement-mode PHEMT devices, a simultaneous subharmonic and 180-degree singly balanced resistive mixer was designed. Full-duplex communication is achieved downconverting an AM interrogating signal and retransmitting a BPSK response. A varactor-controlled printed patch is tuned to the hopping frequency of the desired interrogation, reducing the possibility of communication interception and thus improving link security.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años los arrays retrodirectivos han generado un enorme interés en diferentes campos de aplicación, tales como las redes de sensores inalámbricos, aplicaciones de identificación por radiofrecuencia (RFID) o sistemas de comunicaciones seguras [1]. Dichas agrupaciones se caracterizan por su capacidad para transmitir automáticamente una señal de respuesta hacia la posición del interrogador sin tener ningún conocimiento previo del ángulo de incidencia, gracias a la interconexión de líneas de transmisión de igual longitud [2] o al empleo de técnicas de conjugación de fase heterodina [3]. Estos arrays suponen una solución viable y de bajo coste para los sistemas inalámbricos modernos al evitar el uso de los complejos algoritmos de procesamiento digital de la señal que se requieren en la mayoría de las antenas inteligentes con conformado digital del haz o adaptativas.

Teniendo en cuenta que la señal de respuesta es una versión invertida en fase de la interrogación, cualquier información recibida por la agrupación será también devuelta a la posición del interrogador. Si se estuviese interesado en proporcionar una comunicación full-dúplex se debería o bien eliminar la información recibida antes de realizar la conjugación en fase [4], [5] o insertar los datos de respuesta en un formato de modulación excluyente [6].

Por otra parte, como la información de respuesta se transmite de manera automática al interrogador, siempre que se opere en el ancho de banda del array y en el ancho de haz del patrón monoestático, no existe ningún tipo de seguridad. Para solucionar este problema se ha propuesto emplear arrays con selección de nulo como en [7] y [8]. En [7] dicho array

permite la transmisión de datos interferentes (jamming) a todas las direcciones indeseadas mientras que en [8] se minimiza la respuesta sólo hacia la posición de interferencia.

En este artículo, se propone una antena activa conjugadora de fase sintonizable en frecuencia para su uso en enlaces de comunicación retrodirectivos seguros y full-dúplex.

## II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En la Fig. 1 se muestra un diagrama del sistema inalámbrico que se propone. En cada elemento de la agrupación se realiza una doble función, recepción y retransmisión. En el primer caso, la señal AM recibida se convierte directamente a banda base, mientras que en el segundo, se busca la inversión en fase para alcanzar la retrodirectividad. Para ello se emplea un mezclador con dos dispositivos que trabaja simultáneamente en una configuración simplemente balanceada, para la recuperación de los datos, y en un modo subarmónico, para la inversión de fase.

El OL se obtiene de una muestra de la señal que llega al primer radiador, que es convenientemente amplificada hasta el nivel requerido por el mezclador y recortada para la eliminación de la modulación AM. Antes de ser distribuida en fase a todos los conjugadores del array puede modularse con los datos de respuesta en un formato PM, eso sí, con la mitad de la desviación de fase deseada para la retransmisión. En nuestra aplicación particular se ha seleccionado una respuesta BPSK. Los datos recibidos se extraen después de la conversión analógica a digital de la señal banda base de este primer elemento. Sin embargo, tratando de aprovechar el array se ha contemplado también la posibilidad de implementar un escenario conformador de haz como en [5].

Se ha añadido además una antena sintonizable en frecuencia para mejorar la seguridad del enlace. La información acerca de la próxima frecuencia de operación llega como parte de los datos recibidos. Tras su decodificación en la unidad de procesamiento, se emplea una tabla de operaciones de búsqueda (look-up table, LUT) para generar la tensión de sintonía de las antenas.

La unidad de control es simplemente un circuito basado en varactor requerido para controlar apropiadamente la

frecuencia de resonancia de la antena. De esta manera, tras recibir el comando, el array puede reconfigurarse automáticamente y el enlace de comunicación puede saltar en frecuencia evitando una interceptación indeseable de la retransmisión. En el intervalo entre saltos, sin embargo, el array es autónomo en frecuencia evitando, por ejemplo, pequeños efectos Doppler.

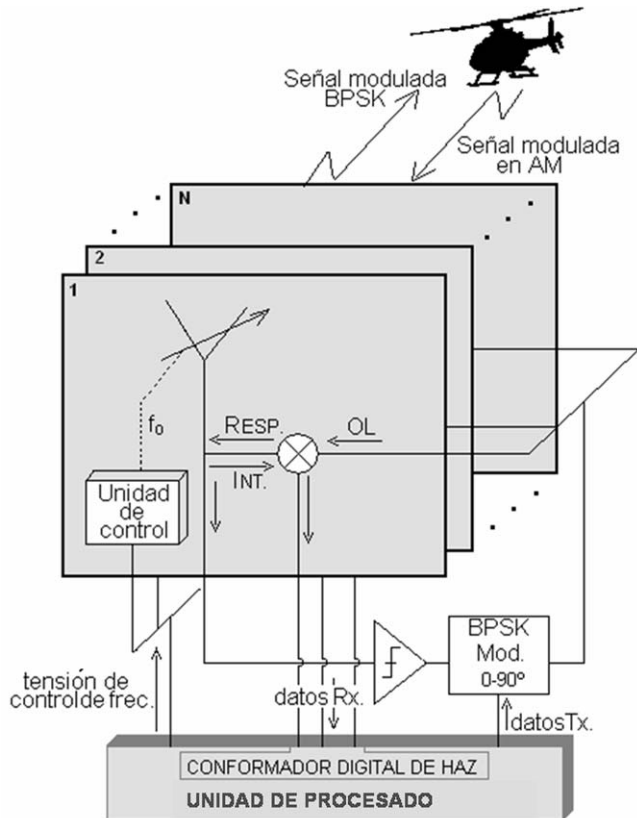


Fig. 1. Diagrama del sistema retrodirectivo propuesto.

### III. PARCHE SINTONIZABLE

Se pueden encontrar en la bibliografía varios trabajos que proponen el uso de varactores para variar la frecuencia de sintonía en los parches [9]. Añadiendo este elemento reactivo a lo largo de uno o en ambos bordes radiantes, se puede cambiar electrónicamente la frecuencia de resonancia para cubrir un rango de frecuencia ancho.

Teniendo esto en consideración, se diseñó un parche cuadrado para operar en el extremo más alto de la banda deseada. En la Fig. 2a se pueden encontrar detalladas las dimensiones de la antena en *mm*. Se seleccionó una configuración acoplada por ranura para conseguir una integración óptima con el circuito activo. Buscando maximizar su ganancia se empleó el sustrato de ARLON Foamclad<sup>RF</sup> de 2.59 *mm* con  $\epsilon_r = 1.1$ . En el borde radiante opuesto a la excitación de alimentación se emplazó un varactor de bajo coste, BB833 de Infineon, entre el parche y el plano de masa. No se dedicó ningún esfuerzo especial a maximizar su rango de funcionamiento, ya que se concibió sólo para validar esta propuesta.

En la Fig 2b se ven los resultados de la medida del parámetro  $S_{11}$ . Como se puede observar, la antena se puede sintonizar en un rango de unos 100 MHz, centrado en 820 MHz.

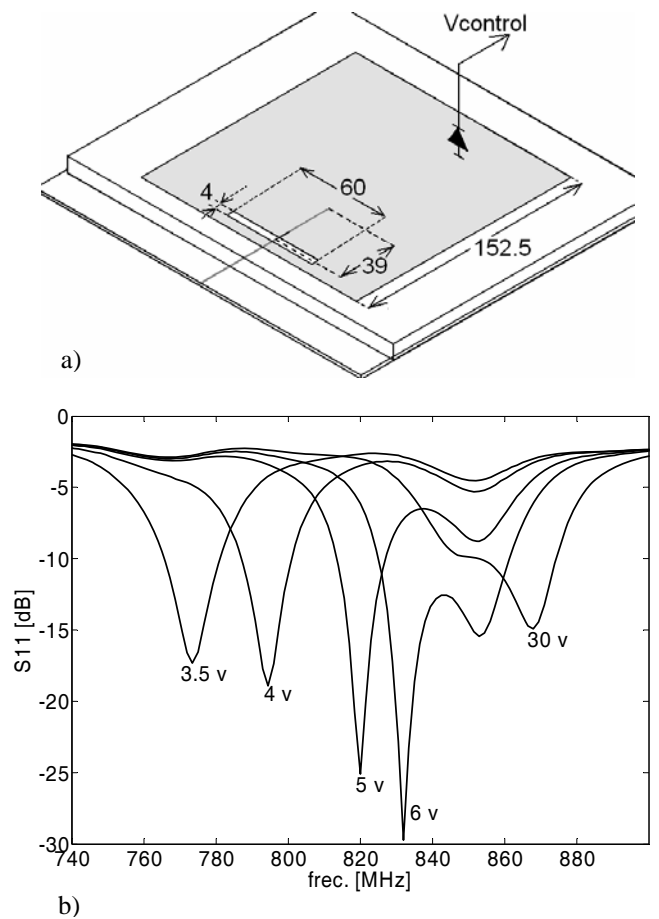


Fig. 2. Parche sintonizable acoplado por ranura: a) detalles de la geometría y b) evolución de la adaptación de entrada con la polarización del varactor y la frecuencia.

### IV. CONJUGADOR DE FASE SOBRE DISPOSITIVOS E-PHEMT

#### A. Mezclador resistivo de modo dual

Se ha demostrado que los mezcladores resistivos a FET son muy apropiados para su utilización en agrupaciones retrodirectivas [1], ya que los puertos de RF e IF comparten un terminal común del dispositivo. Planteando esta configuración, en [10] los autores proponían el uso de un mezclador subarmónico sobre E-PHEMT para evitar tanto la necesidad de emplear un oscilador local al doble de frecuencia como la polarización en DC.

En el caso que aquí se propone, esta configuración de dos dispositivos se ha modificado convenientemente para permitir el funcionamiento subarmónico en el proceso de conjugación de fase y la operación  $180^\circ$  simplemente balanceada en el modo directo de conversión hacia abajo [11].

En la Fig. 3a se presenta un esquema simplificado del mezclador de modo-dual diseñado. En esta configuración, comparada con la que se presenta en [10], los terminales de drenador de los transistores ATF54143 de Agilent se han conectado a través de unas capacidades adecuadamente seleccionadas. Dichos elementos a las frecuencias de interrogación y respuesta actúan como corto circuitos mientras que son circuitos abiertos para baja frecuencia. De esta manera, la componente banda base de la mezcla puede

extraerse a través del puerto diferencia de un transformador híbrido de  $180^\circ$ .

Se hicieron medidas del mezclador barriendo la frecuencia de interrogación a lo largo del rango funcionamiento de la antena y asegurando una separación constante con la señal de OL de  $5\text{ MHz}$ . En la Fig. 3b se muestran los resultados obtenidos en la ganancia de conversión (GC) para cada modo, con un nivel de potencia de OL óptimo de  $6\text{ dBm}$ . Como se esperaba [11], los valores obtenidos son satisfactorios con unas pérdidas de conversión subarmónicas 2 o 3  $\text{dB}$  mayores que en el caso de la conversión hacia abajo. En ambos modos, se asegura una variación máxima perfectamente aceptable de 2  $\text{dB}$  a lo largo de la banda.

El aislamiento de OL se mantiene entorno a 50  $\text{dB}$  mientras que la adaptación de RF en algunas zonas no consigue ser mejor de 8  $\text{dB}$ .

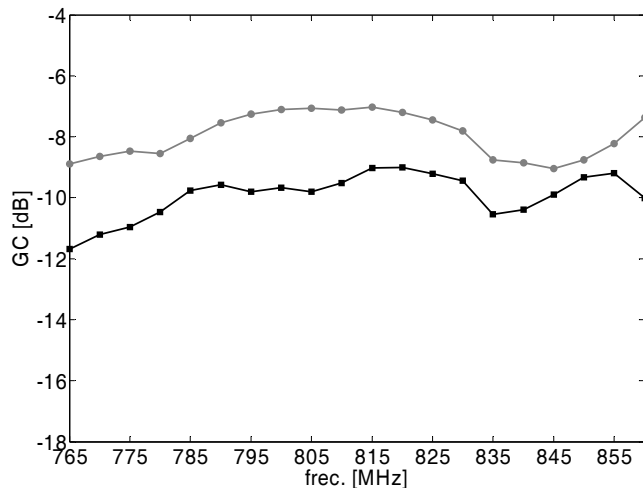
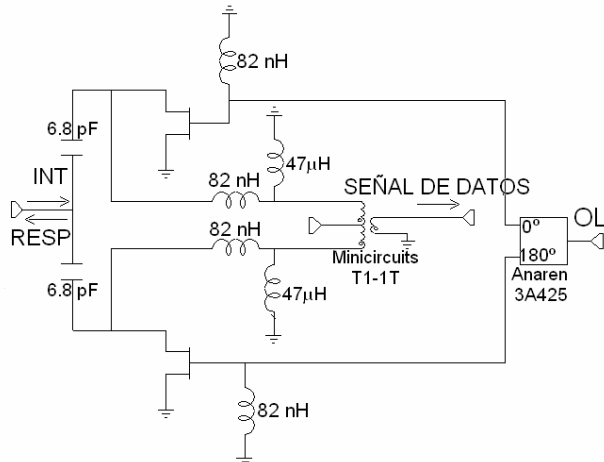


Fig. 3. a) Esquemático del mezclador de modo dual, y b) GC vs. frecuencia para el modo subarmónico ('\_') y el modo simplemente balanceado ('\_').

### B. Configuración balanceada.

Para evitar la retransmisión indeseable de la señal de interrogación se seleccionó una configuración balanceada como en [10]. Los puertos de banda base se convierten en puertos en fase (I) y en cuadratura de fase (Q). Esta estructura balanceada resultaba imperativa para asegurar un nivel constante de la señal convertida directamente, con independencia del desfase entre el OL y la interrogación incidente. Volviendo a la Fig. 1, la conexión entre el

mezclador y el conformador digital de haz consistiría finalmente en dos líneas, I y Q.

## V. MEDIDAS DEL CONJUGADOR DE FASE

El radiador sintonizable y el mezclador de modo-dual se integraron en una antena activa conjugadora de fase sintonizable en frecuencia para ser usada como elemento constitutivo de un array retrodirectivo. Se hicieron medidas en un escenario específico para la caracterización "scatter" como el mostrado en la Fig. 4. Como se puede ver, se emplearon generadores vectoriales de señal para generar la señal de excitación modulada en AM y la señal BPSK de bombeo de OL.

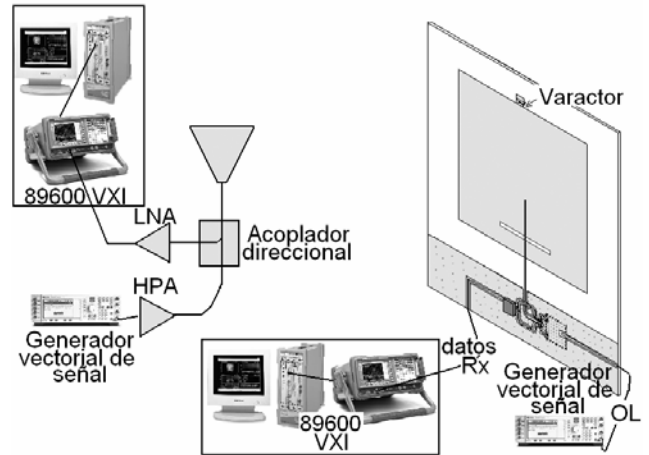


Fig. 4. Escenario de medida para la caracterización de la antena conjugadora de fase.

Para medir las señales de respuesta en la posición del interrogador y la señal convertida hacia abajo se usó el analizador vectorial de señal VSA 89600 de Agilent aprovechando además sus capacidades de demodulación.

Con el fin de poder discernir entre las componentes de llegada y de respuesta, la frecuencia de OL se ajustó  $5\text{ MHz}$  por encima de la interrogación. Además, se usó en el interrogador como señal moduladora un tono de  $50\text{ kHz}$  con un índice de modulación del 20 %. Por otra parte, en el conjugador en fase se moduló en BPSK el OL con una señal pulsada de  $25\text{ kHz}$ , con desfases de  $90^\circ$  para obtener un formato retransmitido con los pasos de fase estándar de  $180^\circ$ .

En la Fig. 5a se muestra la evolución temporal de la señal banda base detectada junto con la amplitud de la envolvente de la señal de AM transmitida, a una frecuencia de interrogación de  $820\text{ MHz}$ . La señal se recupera sin distorsión apreciable, solamente se observan unos pequeños picos correspondientes a las transiciones de fase en el proceso de remodulación.

También se midió la evolución temporal del OL y de la señal de respuesta recuperada en la posición de interrogación, las componentes de fase de sus envolventes se muestran en la Fig. 5b. Es fácil observar el comportamiento como doblador de fase debido al proceso de conversión subarmónica, por otra parte, no se nota ningún efecto debido a la modulación de amplitud de la interrogación recibida.

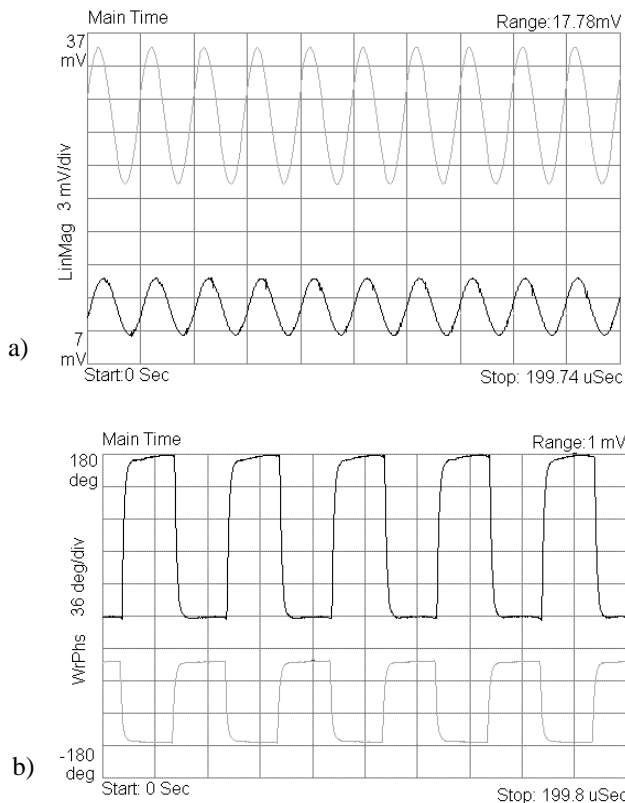


Fig. 5. a) Evolución temporal de la señal convertida hacia abajo ('\_') y de la componente de amplitud de la envolvente de la interrogación ('\_'). b) Evolución temporal de las componentes en fase de la envolvente para el OL ('\_') y la respuesta BPSK recuperada ('\_').

Finalmente, se midió la característica en frecuencia de la sección radar de conversión (CRCS) para una secuencia lineal de tensiones de control del varactor, mirar Fig. 6.

Se puede apreciar perfectamente la selectividad en frecuencia de la antena conjugadora en fase. La variación con la polarización del máximo de CRCS no es muy alta y puede manejarse en el interrogador. Este resultado valida la solución propuesta para trabajar en un tipo de escenario con baja tasa de salto en frecuencia, en la búsqueda por mejorar la seguridad del enlace.

## VI. CONCLUSIONES

Se ha propuesto una antena activa conjugadora de fase sintonizable en frecuencia para su uso en enlaces de comunicación retrodirectivos full-duplex y seguros. En ella se integra un mezclador resistivo de modo-dual sobre E-PHEMT en un parche impreso sintonizable en frecuencia. De esta manera se garantiza simultáneamente la conversión hacia abajo de la señal de interrogación recibida y la inversión de fase, con una variación máxima de 2 dB a lo largo de un rango de frecuencia del 12 %. Se ha probado tanto la comunicación full-dúplex, usando dos formatos de modulación temporal mutuamente excluyentes, como la capacidad para el funcionamiento en salto de frecuencia. Al no requerir el mezclador de polarización se evita la distribución de las tensiones de DC cuando se implementen en grandes agrupaciones, ofreciendo ventajas adicionales para aplicaciones en las que prima un coste efectivo.

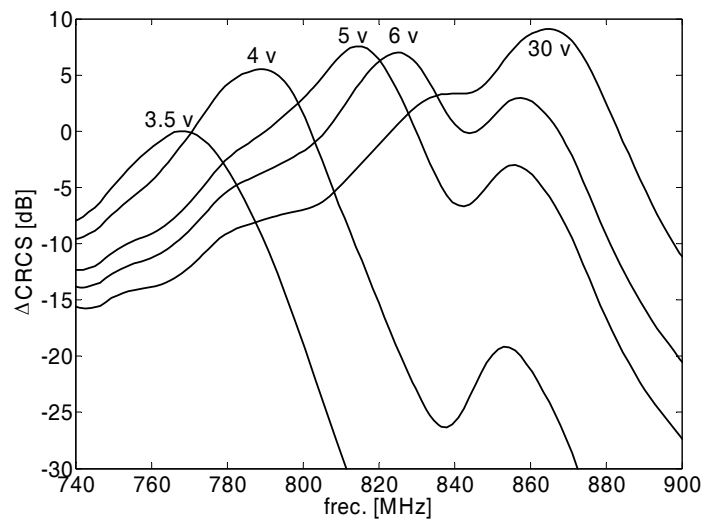


Fig. 6. Característica frecuencial del CRCS para una secuencia de tensiones de control. La referencia de 0 dB corresponde a 18.835 dBcm<sup>2</sup>.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la financiación proporcionada por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) y por la Comisión Europea a través del proyecto TEC2005-07985-C03 y de la Red de Excelencia TARGET.

## REFERENCIAS

- [1] R. Y. Miyamoto and T. Itoh, "Retrodirective arrays for wireless communications," *IEEE Microwave Mag.*, Vol. 3, No. 1, pp. 71-79, March 2002.
- [2] L. G. Van Atta, "Electromagnetic Reflector," *U. S. Patent No. 2,908,002*, October 6, 1959.
- [3] C. Y. Pon, "Retrodirective array using the heterodyne technique," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, Vol. 12, pp. 176-180, Mar. 1964.
- [4] L. D. Didomenico and G. M. Rebeiz, "Digital communications using self-phased array," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech*, Vol. 49, No. 4, pp. 677-684, April 2001.
- [5] K. M. K. H. Leong, Y. Wang and T. Itoh "A full duplex capable retrodirective array system for high-speed beam tracking and pointing applications," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech*, Vol. 52, No. 5, pp. 1479-1489, May 2004.
- [6] K. M. K. H. Leong, and T. Itoh, "Full-duplex retrodirective array using mutually-exclusive uplink and downlink modulation schemes," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, June 2004, pp. 1695-1698.
- [7] R. Y. Miyamoto, G. S. Shiroma, B. T. Murakami, and W. A. Shiroma, "A High-Directivity Transponder using Self-steering Arrays," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, June 2004, pp. 1683-1686.
- [8] D. S. Goshi, K. M. K. H. Leong, and T. Itoh, "A retrodirective array with interference rejection capability," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, June 2005, pp. 395-398.
- [9] G. Le Ray, M. Hindi, and J. P. Daniel, "Frequency agile slot-fed patch antenna," *Electronics Lett.*, vol. 32, pp. 2-3, 4<sup>th</sup> Jan. 1996.
- [10] A. de Diego, J. A. García, and A. Mediavilla, "A retrodirective array using unbiased subharmonic resistive mixers," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, June 2004, pp. 1249-1252.
- [11] S. A. Maas, *The RF and Microwave Circuit Design Cookbook*, Norwood: Artech House, 1998.